

Túnel do Marão – lições retiradas das fases de escavação e revestimento definitivo

Manuel Tender¹; João Pedro Couto², João Baptista³, António Garcia⁴

[1] Doutorando, Universidade do Minho

[2] Professor Auxiliar, Universidade do Minho

[3] Assessor Técnico de Gestão, Infraestruturas de Portugal

[4] Diretor Sistemas de Gestão e Tecnologia, EPOS - Empresa Portuguesa de Obras Subterrâneas

1. APRESENTAÇÃO DE CASO DE ESTUDO

Objetivos do estudo

O objetivo da análise deste caso de estudo passa por expor as principais lições práticas em matéria de segurança e saúde retiradas durante as fases de escavação subterrânea e de revestimento definitivo da 2ª fase de construção do Túnel do Marão (TDM). Serão analisadas as medidas preventivas adotadas para minimizar os riscos tradicionais deste tipo de obras, designadamente de atropelamento, queda de blocos, soterramento, explosão extemporânea, queda em altura, inalação de gases e poeiras, entre outros, associados aos riscos particulares decorrentes do período em que a obra esteve suspensa.

Enquadramento da empreitada

O TDM situa-se no Norte de Portugal e permitirá o atravessamento subterrâneo da Serra do Marão, entre Ansiães-Amarante e Campeã-Vila Real. O Túnel é constituído por duas galerias paralelas de 5667 m de comprimento com 13 interligações, pedonais e para veículos. O Dono da Obra, “IP - Infraestruturas de Portugal, S.A.”, adjudicou a empreitada, em regime de Conceção/Construção, ao Consórcio Teixeira Duarte - Engenharia e Construções, S.A. e EPOS – Empresa Portuguesa de Obras Subterrâneas, S.A. pelo valor de 88 099 873,47€. O Consórcio efetuou a divisão das atividades a executar, sendo que a EPOS - Empresa Portuguesa de Obras Subterrâneas, S.A. ficou responsável pela escavação e revestimento definitivo e a Teixeira Duarte - Engenharia e Construções, S.A. pela

instalação dos sistemas e equipamentos de segurança ativa e não ativa, drenagens, pavimentação e edifícios técnicos.

Enquadramento temporal

Os trabalhos de escavação subterrânea da 1ª fase tiveram início em julho de 2009, tendo sido suspensos, por restrições de financiamento, em julho de 2011, ficando 3961 m por escavar. Desde essa data até ao reinício da obra, realizaram-se exclusivamente trabalhos de manutenção da obra já executada e monitorização da instrumentação instalada. Em 2014, para a preparação de propostas de construção para 2ª fase da obra (uma vez que este interregno poderia ter levado ao aparecimento de pontos fracos no revestimento primário, aumentando o risco de queda de blocos para zonas de circulação de trabalhadores e equipamentos), foi realizada uma inspeção ao estado dos túneis. Nesta inspeção, verificou-se que o maciço se encontrava globalmente estabilizado, não tendo sido identificada qualquer situação de convergência alarmante. A maior parte das patologias verificadas consistiram em deslocamentos e fissuração no betão projetado e queda, pontual, de pequenos blocos. As patologias identificadas relacionavam-se com a degradação natural do suporte primário ao longo do tempo e em zonas do maciço com características geológicas e geotécnicas desfavoráveis (seja por diaclasamentos desfavoráveis que, com a descompressão do maciço tendem a carregar o suporte, seja por concentrações de afluências de água), e com perda de interligação de betão projetado com o maciço. Mais se verificou que não foi encontrado qualquer deslocamento, nem queda de blocos, por rotura de pregagens “Swellex”. Em outubro de 2014, teve início a segunda fase de escavação subterrânea e os trabalhos de revestimento definitivo (impermeabilização, drenagem, montagem de armaduras e betonagem de revestimento final).

Reforço de zonas já executadas

Na fase de inspeção, constatou-se que o maciço rochoso apresentava como principais patologias deslocamentos e fissuração do suporte primário de betão. Assim, de modo a minimizar os riscos de evolução da degradação do suporte primário, iniciam-se os trabalhos com o reforço das áreas escavadas na primeira fase. Foram adotadas medidas de instrumentação, saneamento de zonas instáveis e delimitação de zonas de risco, para diminuir os riscos associados à presença de trabalhadores e equipamentos.

Escavação e suporte primário

O método utilizado foi o Método de Escavação Convencional (MEC), vulgo “*New Austrian Tunnelling Method*” (NATM). De origem austríaca, em 1962 a sua designação foi atribuída no XIII Colóquio de Geomecânica, em Salzburgo (Stipek et al., 2012). Segundo Rabcewicz, um dos pais do NATM, “consiste na aplicação de uma fina camada de betão projetado no suporte da escavação, o mais rapidamente possível, de forma a criar um arco auxiliar, sendo a deformação do terreno uma função do tempo até se atingir o equilíbrio”. Apresenta três pontos-chave: 1) a aplicação e revestimento de betão projetado; 2) o fecho do anel o mais cedo possível; e 3) a medição sistemática da deformação.

O método envolve as seguintes fases, que a Figura 1 ilustra:

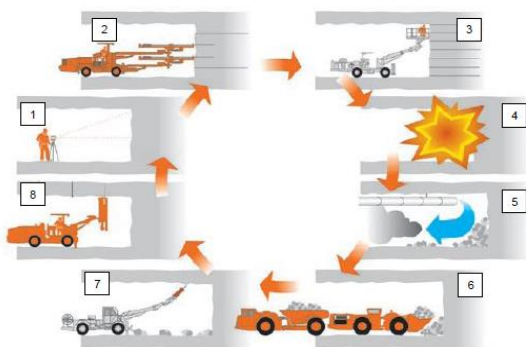


Figura 1 - Faseamento de Método de Escavação Sequencial (Tender, Couto, & Ferreira, 2015)

- 1 – Avaliação geológica/geotécnica e marcação topográfica da frente de escavação;
- 2, 3 e 4 – Escavação mecânica sequencial do maciço, através de meios mecânicos (balde, martelo pneumático ou roçadora) ou emprego de explosivos (neste caso, com perfuração através de equipamento de trabalho “Jumbo”, seguido de saneamento manual e carregamento de furos executados com explosivos);
- 5 – Ventilação de galeria, de modo a expulsar o ar contaminado da atmosfera após a escavação (especialmente quando há recurso a explosivos) e garantir a renovação do ar, de forma a cumprir com os valores limite de exposição descritos na legislação em vigor;
- 6 – Limpeza, remoção e transporte de produtos de escavação para vazadouro, retirando o produto resultante da escavação e criando condições na frente de escavação para a realização de saneamento do terreno e posterior aplicação de suporte primário;
- 7 – Saneamento mecânico da escavação, provocando a queda controlada de blocos ou fragmentos de maciço em posição instável e garantindo que o maciço reúne condições de integridade para aplicação da primeira camada de betão projetado;
- 8 – Aplicação da primeira camada de betão projetado e elementos metálicos de estabilização: betão projetado, com possível adição de fibras, cambotas metálicas, pregagens e enfilagens, para melhorar a resistência e estabilidade do maciço rochoso.

O método promove a deformação do maciço adjacente à secção escavada, que passa a funcionar como elemento portante. Esta deformação, minimizada pela aplicação da primeira camada de betão (e eventuais elementos de estabilização), permite a redistribuição e a redução de tensões máximas, evitando que o maciço entre em situação de instabilidade e potenciando, assim, através do suporte primário, a máxima capacidade resistente do terreno. Sendo um método eminentemente observacional (D. Lamont, 2002), a monitorização é garantida com um sistema de instrumentação implantado no revestimento, no maciço e em furos de sondagem. Este sistema dita, em função dos resultados, a necessidade de reforço ou a possibilidade de aligeiramento do suporte provisório.

2. METODOLOGIA

Para realizar a investigação e analisar os dados obtidos, adotou-se uma metodologia expositiva baseada no levantamento de informação realizado *in situ* por alguns dos autores.

A empreitada em estudo foi selecionada por dois motivos fundamentais: primeiro, e historicamente falando, este é o túnel mais relevante em termos de dimensão a nível ibérico; segundo, esta empreitada notabilizou-se pela adoção de práticas exemplares nos domínios da segurança e saúde no trabalho.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Formação dos trabalhadores

Uma vez que a formação incide sobre uma componente de atitude individual, revela-se como fator fundamental na gestão de equipas. A ITA já o reconheceu há vários anos, tendo publicado um livro ilustrado, “*Safety in Tunnelling*”, em diversas línguas. Esta empreitada, devido a usar o MEC, envolve mão-de-obra muito diversificada, o que contribui para uma maior probabilidade de falhas humanas (Health and Safety Executive, 1996), aumentando a importância do fator “formação” como minimizador de probabilidade de ocorrência de atitudes individuais perigosas. Para o projeto, foram definidos e desenvolvidos dois tipos de formação: a formação de acolhimento/enquadramento inicial (promoção da SHST) e a formação de aperfeiçoamento/especialização de índole técnica.

No TDM, para ultrapassar os desafios e condicionalismos relativos à elevada contratação de mão-de-obra local, bem como o prazo escasso para realizar a respetiva seleção e recrutamento, foi criado um curso de formação para responder à necessidade de formação inicial de enquadramento, bem como das regras de segurança a cumprir (formação “Promoção da Saúde, Segurança no Trabalho e Ambiente – TDM”, com a duração de 8 horas e realizada no primeiro dia de trabalho, ministrada pela equipa QAS em obra).

Quanto à formação de aperfeiçoamento/especialização de índole técnica, foi particularmente ministrada aos operadores de

equipamentos móveis de produção. Com o objetivo de propor atividades formativas de cariz pouco teórico e grande enfoque nas atividades produtivas, bem como de acompanhar continuamente de perto as atividades formativas, recorreu-se a um formador/tutor interno. A título de exemplo, um dos percursos formativos desenvolvidos foi o “Formação Prática em Contexto de Trabalho (FPCT) – Condutor Manobrador Equipamentos Móveis de Produção”, individual (ou em pequenos grupos de manobreadores) e em contexto real de trabalho, para melhoria das competências técnicas na operação, manutenção e segurança de equipamentos móveis de produção. A sua duração variou consoante o grau de proficiência do operador e as dificuldades identificadas pelo formador. Um outro percurso formativo visou o aperfeiçoamento dos condutores manobreadores, com o intuito de proporcionar aos participantes conhecimentos que permitam reduzir perdas de produtividade, através da correta utilização dos equipamentos móveis de produção, nomeadamente ao nível da prevenção de riscos de acidentes e na manutenção de 1.º nível (formação com duração de entre 2 e 5 dias). Em algumas situações, trabalhou-se em parceria com os fornecedores dos equipamentos, estreitando assim as parcerias criadas.

Desenvolveram-se ainda metodologias eminentemente práticas para aquilatar de que forma as aprendizagens eram aplicadas nas práticas quotidianas dos trabalhadores, nomeadamente ao nível da operação de equipamentos industriais. O processo, designado de Avaliação de Competências na Operação de Equipamentos (ACOE), assenta num método de avaliação/certificação prática em contexto real de trabalho com recurso a *checklists* próprias para os diversos equipamentos, e pretende medir a proficiência de cada trabalhador em competências associadas à manobra dos equipamentos móveis de produção. Se o operador tiver uma classificação inferior a determinado valor pré-definido (geralmente 75%), não poderá operar o equipamento até receber formação específica e ser novamente avaliado. De destacar a realização de 87 avaliações de trabalhadores com resultados muito satisfatórios, tendo-se registado apenas uma avaliação negativa (inferior a 75%).

O formador/monitor interno foi determinante para o sucesso deste processo formativo/avaliativo, e o seu conhecimento técnico dos equipamentos utilizados, experiência e interiorização da cultura da empresa e adaptabilidade aos horários/turnos praticados foram fulcrais.

Além das temáticas referidas, também é de destacar a formação e certificação para os operadores de explosivos, a formação em primeiros socorros e em extinção de incêndios, em segurança rodoviária, etc. Adicionalmente, promoveram-se diversas ações de sensibilização e de divulgação de Palestras de SST temáticas, promovendo a discussão e partilha de informação acerca da SST, para melhorar os conhecimentos de todos os trabalhadores acerca dos riscos para a segurança e saúde, bem como das medidas de proteção e de prevenção e a forma como se aplicam, quer em relação à atividade desenvolvida, quer em relação à empresa. Neste âmbito, poderemos salientar temas como a Importância da Comunicação de Quase Acidentes.

Acessos

A zona da Serra do Marão é caracterizada por terrenos com grandes inclinações e vales profundos. A obra obriga a uma grande movimentação de equipamentos, designadamente de transporte de materiais provenientes da escavação, com destino a vazadouro (que ficava afastado do local de escavação). Considerando as condicionantes geomorfológicas citadas, os equipamentos têm necessidade de circular no talude de meia encosta, havendo um risco elevado de tombamento e capotamento de equipamentos para níveis inferiores (taludes com altura superior a 40 m). Aliás, na 1ª fase da construção do Túnel ocorreu um acidente grave, exatamente por aproximação intempestiva à bordadura de talude e consequente rolamento e capotamento para a base do vale. Esta situação, em conjunto com outras determinações, levaram a que, no decorrer da 2ª fase, fosse utilizado: um cordão de terras com material aproveitado da escavação, perfis móveis de betão (PMB's) e, em algumas situações mais específicas, pela construção dos muros de gabiões, como delimitadores de bordadura de talude(s) de aterro (de modo a minimizar a probabilidade de aproximação a desnível).

Desde o início da empreitada que os acessos pedonais foram caracterizados como fundamentais para a realização das atividades de forma segura. No exterior dos túneis, nomeadamente no estaleiro social, foi colocada diversa sinalização evidenciando os riscos e como proceder para circular em segurança, tendo sido também implementada uma separação física entre o caminho pedonal e a via de circulação dos veículos e equipamentos móveis, e criados passadiços a níveis superiores para evitar o conflito entre peões, veículos e equipamentos móveis. No interior dos túneis, numa fase inicial, optou-se também pela separação física entre os caminhos pedonais e de viaturas e equipamentos (ilustrada na Figura 2): os trabalhadores circulavam apenas por um dos hasteais do túnel, junto da iluminação artificial. Posteriormente, pela inexistência de trabalhadores ao longo dos túneis e pela excessiva concentração dos mesmos junto das frentes de trabalho, a medida foi alterada, procedendo-se ao reforço da sinalização e à delimitação do acesso pedonal apenas nas zonas afetadas. Adicionalmente, para minimizar o risco de atropelamento ao longo dos túneis, foi também proibida a deslocação de pessoas a pé para as frentes de trabalho.



Figura 2 – Restrição de trânsito pedonal em faixa central

Instalações sociais

O investimento nas infraestruturas e equipamentos disponibilizados nas instalações sociais à generalidade dos trabalhadores foi elevado, com particular destaque para a zona de dormitórios criada (para

usufruto dos muitos trabalhadores deslocados na obra) que permitia que cerca de 100 trabalhadores estivessem alojados em quartos individuais devidamente equipados e climatizados (ilustrados na Figura 3).

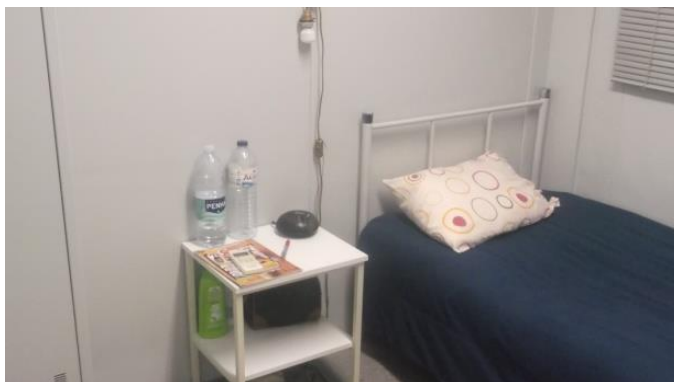


Figura 3 – Quarto individual fonte (fonte: autores)

De destacar também a disponibilização de três zonas de toma de refeições totalmente equipadas (uma junto da zona de dormitórios, outra na frente nascente e outra na frente poente), permitindo que os trabalhadores, se assim o desejassem, pudessem tomar as suas refeições, previamente adquiridas e confeccionadas, sem terem outro tipo de custos.

Maciço escavado há 3 anos e apenas com revestimento primário

No TDM, as questões relacionadas com segurança estrutural foram introduzidas pela Coordenação de Segurança em fase de Projeto, num trabalho bastante próximo com o Dono de Obra, dado que interferiam direta e permanentemente com as de segurança ocupacional (pois a suspensão de trabalhos em 2011 provocou um aumento dos riscos habitualmente presentes de desprendimento e queda de blocos ou fragmentos de suporte primário). A necessária abordagem em fase de Projeto resultou em que fossem realizados relatórios de monitorização periódicos específicos, de modo a detetar problemas no maciço ou no suporte primário. Como eram antecidos de vistoria ao túnel, para avaliação das condições do

suporte primário, era realizado um acompanhamento e uma monitorização que permitiu priorizar as intervenções a realizar, atuando-se assim preventivamente.

Para minimizar o risco de queda de blocos e materiais sobre os trabalhadores e equipamentos nas áreas de trânsito, foram adotadas as seguintes medidas preventivas antes do reinício das atividades:

- Saneamento mecânico e manual de zonas cuja avaliação revelava instabilidade;
- Reforço do suporte primário das zonas já executadas o mais antecipadamente possível;
- Delimitação/sinalização de "zona de risco" e respetiva interdição de circulação em zonas de tipo 2, identificadas como pouco seguras;
- Avaliação conjunta de representante de projetista (ATO), geologia e equipa de instrumentação;
- Observação de elementos de suporte instalados como parte da rotina diária dos intervenientes;
- Interdição de circulação pedonal nas galerias (sendo o acesso às frentes de trabalho realizado por viatura), minimizando a exposição ao risco de queda de blocos;
- Estabelecimento de um plano de instrumentação rigoroso e de fácil interpretação;
- Promoção de vistorias conjuntas periódicas ao estado do betão projetado e do maciço, na presença do ATO, geologia, representante da direção de obra e Coordenação de Segurança em fase de Obra (CSO), com emissão de registo (exemplo na Tabela 1).

Tabela 1 – Exemplo de registo de verificação de maciço de zonas já escavadas

Local	Patologia	Medida a aplicar	Próx. verificação
A	Hasteal direito – betão podre	Sanear	Mensal
B	Hasteal esquerdo – material em risco de queda	Provocar queda de material em risco	Mensal
C	Abóbada – fissuração	Sanear. Nova projeção de betão	Mensal

Estas medidas garantiram que, mediante a evolução da obra, fossem identificadas e reparadas atempadamente novas patologias, minimizando assim o risco para trabalhadores e equipamentos.

Apoio na frente de escavação

Diversas instalações de apoio revelam-se fundamentais para obter os resultados esperados. Nesse sentido, podemos referir a importância das comunicações no interior do túnel, asseguradas por uma rede de rádios intercomunicadores, que permitem uma comunicação eficaz com as frentes de trabalho no interior do túnel e em trabalhos realizados no exterior. Este sistema de comunicações minimizava as deslocações no interior dos túneis e permitia uma rápida realização do socorro num eventual cenário de emergência. Para assegurar as condições de higiene e salubridade aos trabalhadores no interior dos túneis, foram colocadas junto das diversas frentes de trabalho instalações sanitárias químicas com iluminação, sendo mudadas de sítio à medida que os trabalhos avançavam.

Dada a inexistência de água potável no interior dos túneis, procedeu-se à instalação de equipamento de fornecimento de água potável com copos de plástico individuais. Assim, garantiu-se a disponibilidade de água para consumo a todos os trabalhadores (Figura 4), diminuindo as suas deslocações ao exterior e garantindo a qualidade da água fornecida.



Figura 4 – Sistema de abastecimento de água potável em frente de obra

Para evitar contacto com elementos elétricos desprotegidos, procedeu-se à suspensão de cabo de alimentação elétrica de “torçada” suportada ao longo dos hasteais dos túneis, por vezes reforçada com suportes amovíveis, e com aplicação de isolamento nas derivações.

Também como parte da prevenção, foram disponibilizadas caixas de primeiros socorros e de meios de extinção portáteis, acompanhando e protegendo todas as frentes de trabalho existentes.

Gestão de pegas de fogo

Tendo em consideração a legislação em vigor no tocante ao manuseamento das substâncias explosivas, os riscos associados às tarefas de preparação e carregamento das pegas de fogo, bem como a falta de mão-de-obra especializada nesta temática, optou-se pela criação de um curso de formação específica, com recurso a um formador interno com grande experiência no assunto. Realizaram-se 14 ações de formação para cerca de 150 participantes, com o objetivo de aumentar as competências técnicas dos trabalhadores e prepará-los para a realização dos exames de acesso à cédula de operador de substâncias explosivas junto da PSP (entidade certificadora), tendo-se obtido uma taxa de aprovação de 93%.

A área dos explosivos tem assistido a grandes progressos em termos de materiais e equipamentos utilizados, procurando otimizar rendimentos, garantir melhores condições de estabilidade para transporte e manuseamento e diminuir a emissão de gases tóxicos. Atualmente, a tendência é para se usarem as emulsões como produto explosivo de desmonte, em detrimento do ANFO (Stipek et al., 2012), que teve origem na década de 70. As vantagens das emulsões prendem-se com a maior estabilidade durante transporte e manuseamento, uma proporção muito baixa de contaminantes tóxicos, uma alta insensibilidade para ações mecânicas e tensão térmica, um baixo custo, uma excelente resistência a água e velocidades de detonação elevadas. No TDM, do lado Poente, foram utilizadas, em parte, emulsões, garantindo um explosivo seguro durante transporte, armazenamento e manuseamento.

O prazo de execução estipulado, apertado, obrigou a que as operações de escavação e de aplicação dos revestimentos

definitivos decorressem em simultâneo. Esta opção tem implicações para a circulação e a qualidade do ar: se for insuflado ar na frente de escavação, todo o comprimento das galerias (incluindo o local de execução de revestimentos definitivos e o emboquilhamento) é continuamente atravessado por uma nuvem de ar que pode conter vários contaminantes, com os seus respetivos riscos e consequências:

- poeira mineral com origem nas frentes de escavação. No caso de maciços com elevado teor em quartzo, é uma situação preocupante, devido ao possível aparecimento de sílica cristalina respirável, potencialmente fatal (Chapman et al., 2010);

- gases resultantes da reação química da pega de fogo. Após a pega de fogo, é insuflado ar fresco na frente de escavação, levando à saída de ar contaminado com gases tóxicos através das galerias.

Uma das opções para minimizar a contaminação do ar em túneis (que, segundo (Velasco, Herrero, & Prieto, 2010), pode agravar as limitações de iluminação existentes em obras subterrâneas), é a montagem de cortinas. A opção inicial tomada no TDM para separação de espaços e minimização de riscos para os trabalhadores encarregues do revestimento definitivo, passou pela instalação das referidas cortinas de retenção de nuvem de ar contaminado (direcionando-a, através de galerias transversais, para a galeria paralela). No entanto, verificou-se que este sistema não surtiu o efeito desejado: a cortina era frágil e danificava-se facilmente devido à constante abertura e fecho; por vezes, a cortina era aberta antes de a nuvem proveniente da pega de fogo passar pelo local. Para resolução da situação, foi posteriormente instalado um portão com sinalização de obrigatoriedade de fecho, conforme Figura 5, tendo-se obtido valores de qualidade do ar bastante aquém dos Valores Limites de Exposição estabelecidos.



Figura 5 – Portão de delimitação de zona de revestimento definitivo (fonte: autores)

Saneamento e carregamento de escombros

A maior parte dos acidentes em obras subterrâneas relacionam-se com trânsito e transporte (Vogel & Kunz-Vondracek, 2013). No espaço confinado e exíguo do túnel, a visibilidade é fraca e o risco de colisões entre trabalhadores e equipamentos é elevado. Em caso de acidente, o equipamento não sofre mas o trabalhador fica ferido. Atendendo a que este método obriga a uma utilização massiva de equipamentos móveis de carga para remoção de escombros (pá carregadora, escavadora hidráulica, *dumpers*, camiões ou carris), o risco de atropelamento é significativo.

A instalação de sistemas de câmara é uma alternativa a espelhos retrovisores ou sinaleiros. O sistema de câmara utilizado no TDM para os *dumpers* é constituído por uma câmara, instalada na parte traseira do equipamento, e um monitor, na cabine do condutor (Figura 6), permitindo ao condutor ter uma melhor visibilidade e minimizando os riscos de atropelamento.



Figura 6 - Sistema de câmaras (fonte: EPOS)

Nesta empreitada, pudemos constatar que a instalação deste sistema, em conjugação com os já existentes (alarme sonoro de marcha-atrás, espelhos, sinalização luminosa) diminuiu o risco de colisão entre equipamentos e de atropelamento, contribuindo para um melhor desempenho dos condutores manobreadores.

As características do túnel obrigam à abertura dos rebaixos laterais, para futura execução de sapatas, o que se revela mais um desafio para a segurança no trabalho, porque esta abertura tem obrigatoriamente que acompanhar o avanço da frente de escavação. Sendo uma zona onde existem quase sempre atividades a decorrer, impunha-se a criação e implementação de medidas de prevenção adicionais que garantissem as condições de segurança adequadas a todos os condutores manobreadores que efetuam consecutivamente a remoção de escombros, com passagem obrigatória neste local. Assim, foi instalada iluminação artificial de forma a não encandear os trabalhadores que ali circulam. Adicionalmente, foi delimitado e sinalizado todo o perímetro da escavação, com colocação de sinalização nas extremidades, para avisar para a presença dos riscos no local e melhorar as condições de visibilidade da escavação existente (Figura 7).



Figura 7 - Sinalização de rebaixos em frentes de escavação (fonte: autores)

Outros dos riscos considerados proeminentes são a queda e projeção de blocos e libertação de poeiras que decorre da atividade de saneamento do terreno escavado. Com o intuito de expor o mínimo possível os trabalhadores a esses riscos, foram implementadas medidas que passaram pela definição de zonas de restrição (Figura 8), pela sinalização de atividades em curso e, em algumas situações pontuais, a instalação de sistemas de aspersão de água nos equipamentos de saneamento mecânico.

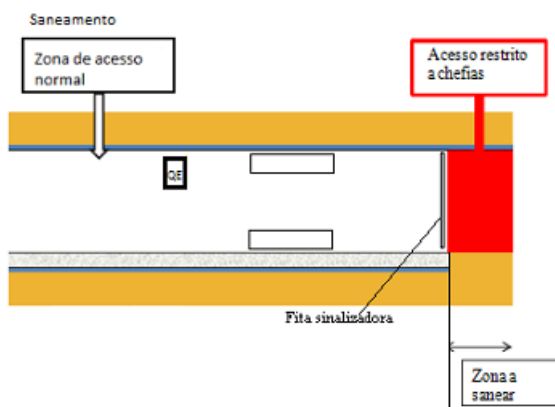


Figura 8 – Zona de restrição em frentes de escavação (fonte: autores)

Projeção de betão e dispositivos estabilização

A aplicação de betão projetado como camada de revestimento inicial é uma característica intrínseca do MES. Depois da projeção de betão no revestimento primário, e antes de o betão ganhar presa suficiente, existe o risco de queda de torrões de betão da abóbada ou dos hasteais. Por esta razão, obter atempadamente uma resistência adequada é um elemento chave que, para além de ter influência na produtividade, também o tem na segurança.

No TDM, tendo este risco sido considerado não tolerável, as medidas preventivas foram reforçadas de duas formas. Primeiro, pela utilização do equipamento “robô de projeção”, que dispõe de telecomandos, permitindo a execução da atividade com o operador afastado da zona de aplicação do betão projetado, zona de elevada acumulação de partículas suspensas e propícia à queda de torrões de betão projetado fresco. Para proteger o operador da exposição e inalação das partículas suspensas, foram adquiridas máscaras completas, adequadas às características ambientais do local. Segundo, pela criação de zonas de exclusão com base no tempo médio de presa de betão obtido em testes realizados (Figura 9). A zona de exclusão é a zona adjacente à zona de projeção (onde o operador do robô se posiciona) e toda a área até à frente de escavação, zonas onde existe o risco de queda de torrões de betão fresco.



Figura 9 – Zona de exclusão na frente de projeção de betão

Esta medida possibilitou a salvaguarda do trabalhador, mesmo nos casos com maior afluência de água e em que a aplicação de betão projetado era mais difícil.

Impermeabilização e montagem de armaduras

Para realizar a impermeabilização e montagem de armaduras, recorreu-se a plataformas e “carros de andaimes”, com rodados que permitiam a deslocação ao longo dos túneis e cuja configuração acompanhava a secção das galerias. Esta solução traduziu-se em proveitos evidentes a nível de produtividade e, além disso, contribuiu para assegurar as necessárias condições de segurança que, doutra forma, seriam difíceis de atingir, devido à altura das galerias, aos ângulos de difícil acesso e à simultaneidade de tarefas com circulação de equipamentos de apoio nos diversos locais em que a atividade se concentrava. Para comprovar as condições de utilização das referidas estruturas, foi definida uma periodicidade mínima trimestral para a realização de uma inspeção/verificação documentada das mesmas, de acordo com os requisitos mínimos constantes do Decreto-Lei 50/2005, para além das situações que pontualmente determinavam essa necessidade de verificação e aprovação das estruturas para utilização. Como é óbvio, as estruturas foram concebidas de modo a contemplarem a instalação de todas as medidas de proteção coletiva básicas para resposta aos riscos decorrentes da sua utilização:

- Montagem e instalação de sistema de iluminação artificial nas plataformas ou “carros” de andaime;
- Montagem de guarda-corpos e rodapés (Figura 10);



Figura 10 – Guarda-corpo junto a hasteal

- Instalação de escadas interiores (Figura 11) e passadiços de acesso às estruturas;

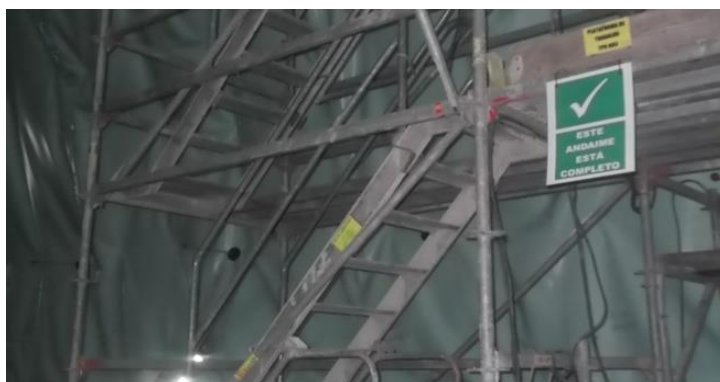


Figura 11 - Escadas interiores e passadiços de acesso às estruturas

- Plataformas de trabalho e escadas constituídos por material antiderrapante (Figura 12)



Figura 12 - Piso antiderrapante em escadas de acesso

Para complementar as medidas indicadas, foram igualmente adotadas medidas para instalação de elementos guarda corpos e/ou linhas de vida, nos locais em que o vão provocado pela distância dos hasteais da galeria e a plataforma permitia a queda de trabalhadores.

Também a atenção dispensada a operações de manutenção, fixação e aperto dos elementos constituintes destas estruturas é algo que deve ser reforçado, do ponto de vista da garantia de estabilidade das mesmas após cada movimentação. Neste ponto, houve aliás a necessidade de instituir a verificação documentada das estruturas, pelo responsável pela sua utilização e após cada movimentação/deslocação, como forma de dar resposta a eventuais reconversões da estrutura, deformações e empenos dos elementos resultantes, por exemplo, de pequenos embates com o terreno escavado.

Cofragem e betonagem de revestimento definitivo

Em termos de utilização e manutenção dos moldes de betão utilizados para a cofragem e betonagem de revestimento definitivo, foram adotadas medidas preventivas para a montagem, utilização e desmontagem:

- Equipamentos de movimentação mecânica de cargas adequados às peças a elevar/movimentar e alvo de verificação e aprovação;

- Acessórios para movimentação mecânica de cargas certificados, adequados e em bom estado de utilização;
- Estabelecimento de áreas desimpedidas e desobstruídas para realização das atividades de montagem e movimentação de cargas, minimizando a interferência com outras atividades em curso nas proximidades;
- Respeito pelas regras, procedimentos e boas práticas associadas à movimentação mecânica de cargas;
- Recurso a plataformas elevatórias para apoio à montagem/desmontagem;
- Obrigatoriedade de utilização de meios de proteção anti queda, recorrendo preferencialmente a medidas de proteção coletiva (guarda corpos, linhas de vida, etc.) ou, quando tal não era possível, medidas de proteção individual (arnês de segurança, blocos retráteis, etc.).

De referir que, também aqui, tal como foi feito no caso das estruturas para impermeabilização e montagem de armaduras, se implementaram medidas de proteção coletiva básicas para resposta aos riscos decorrentes da sua utilização:

- Montagem e instalação de sistema de iluminação artificial nas plataformas e acessos;
- Montagem de guarda corpos anti queda;
- Instalação de escadas interiores e passadiços de acesso às estruturas;
- Estrado dos acessos e plataformas de trabalho constituídos por material antiderrapante;
- Instalação de rodapés para evitar a queda de objetos e materiais;
- Utilização de arnês de segurança durante montagem de estruturas (Figura 13).

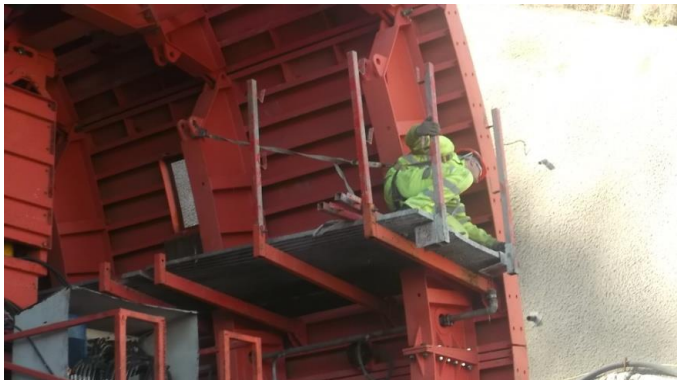


Figura 13 – Utilização de arnês de segurança durante montagem de molde de betão (fonte: autores)

Planeamento de emergência

O primeiro passo para minimização dos danos decorrentes de emergências é o estabelecimento de um plano de contingência para cada cenário, contemplando medidas de primeiros-socorros, intervenção para salvamento e evacuação, assim como a manutenção do abastecimento de energia mínimo para funcionamento de infraestruturas e equipamentos vitais. De destacar aqui o esforço do Consórcio no sentido de garantir a realização de diversas ações de formação e de informação aos trabalhadores, associadas ao tema “emergência”, algumas das quais já foram mencionadas anteriormente.

Quanto a evacuação de sinistrados, a criação de um heliporto surge como uma hipótese de otimização de tempos de transporte, entre a zona do emboquilhamento dos túneis e o hospital mais próximo, para estaleiros com difícil acesso a veículos (ARUP, 2012). No caso do TDM, foram realizadas reuniões com a Autoridade Nacional de Proteção Civil, onde se analisou o tempo de chegada dos serviços de emergência ao local, e que determinou a opção de criação de um heliporto (Figura 14). Foi também fruto desta troca de informações a criação de um espaço para, se necessário, se instalar um hospital de campanha.



Figura 14 – Local reservado para heliporto (fonte: autores)

Como forma de testar e avaliar a implementação do Plano de Emergência Interno (PEI) do TDM, houve lugar à realização de um simulacro de emergência, em que foi simulada uma explosão extemporânea junto à frente de escavação. Este exercício teve como principal objetivo conhecer a capacidade do Consórcio TD-EC/EPOS para gerir os meios de emergência internos e avaliar a capacidade de articulação desses mesmos meios com os meios externos. Contando com a participação dos Bombeiros Voluntários da Cruz Branca de Vila Real, o simulacro decorreu na Frente Nascente (Figura 15), permitindo constatar que os diversos intervenientes do PEI tinham o processo de atuação bem assimilado e atuando em conformidade com o mesmo.



Figura 15 - Simulacro de explosão extemporânea

Assim, considerando que a realização de simulacros permite garantir através de formação e treino, os conhecimentos adequados e a motivação de todos os colaboradores para fazer face a situações de emergência, consideram-se eficazes as ações de formação/sensibilização desenvolvidas em obra e que abordaram o tema em causa.

Foi igualmente possível confirmar a boa coordenação entre os diversos intervenientes internos do consórcio, tendo ficado patente o forte envolvimento e complementaridade entre os diversos intervenientes responsáveis e a articulação com os meios externos. O risco de ocorrência de incêndios é uma realidade sempre presente durante a realização de obras subterrâneas, e decorre essencialmente de situações como o funcionamento e operação de equipamentos de trabalho, instalações elétricas e presença, utilização e manipulação de substâncias inflamáveis. Tomando desde logo este risco como não tolerável, acresce ao mesmo o facto de os trabalhos subterrâneos se realizarem em ambiente fechado, o que pode aumentar exponencialmente a concentração excessiva de fumos tóxicos nos locais de trabalho.

Assim, com vista a minimizar a possibilidade de ocorrência e propagação de situações de incêndio, foi implementado um conjunto de medidas, entre as quais há a destacar:

- Ventilação adequada das frentes de trabalho;
- Distribuição de meios de extinção portátil em locais da obra considerados estratégicos, do ponto de vista do potencial para a ocorrência de incêndios, nomeadamente escritórios, oficinas, zonas sociais, zonas de armazenamento de substâncias perigosas, frentes de escavação, plataformas ou “carros” de andaime e moldes de betão para realização de atividades de revestimentos definitivos;
- Realização de ações de formação em contexto prático, em conjunto com os Bombeiros Voluntários de Amarante, para utilização de extintores portáteis, por parte de trabalhadores da obra (Figura 16);



Figura 16 – Ação de formação prática de utilização de extintor

- Obrigatoriedade de presença de extintores portáteis em equipamentos de trabalho móveis (Dumpers, Pás Carregadoras, etc.), assim como na proximidade de equipamentos estáticos (Geradores, etc.);
- Instalação de meios de autoextinção em alguns equipamentos de trabalho móveis;
- Disponibilização de extintores portáteis adequados junto de instalações elétricas como Postos de Transformação Elétrica e quadros elétricos de alimentação das frentes de escavação;
- Presença obrigatória de extintores portáteis na realização de trabalhos pontuais com possibilidade de produção de faísca ou geração de calor.

A preocupação com a organização, arrumação e limpeza dos locais de trabalho foi uma constante, eliminando desta forma os agentes inflamáveis supérfluos. Também foram adotadas regras de segurança preventivas como a proibição de fumar e queimar resíduos nos locais de trabalho.

4. CONCLUSÕES

No caso em estudo, foram implementadas medidas preventivas cientificamente já estudadas bem como algumas novas abordagens aos riscos. A constatação de não terem ocorrido acidentes de trabalho mortais durante a escavação e revestimento definitivo

revela que as soluções aplicadas foram adequadas para o efeito. O sucesso comprovado de algumas das medidas preventivas, embora já identificadas em literatura mas não constantes do quadro normativo e legal, poderá vir a ser um reforço para que este quadro seja atualizado.

Face aos condicionalismos existentes e originados pela suspensão de trabalhos durante três anos, verificou-se que as fragilidades do revestimento primário obrigaram – numa abordagem integrada entre segurança estrutural e segurança ocupacional e num trabalho conjunto entre CSO, ATO, Direção de Obra e Geologia – a duas abordagens preventivas: o reforço de zonas já escavadas (segurança estrutural) e a restrição de circulação, acompanhada de monitorização do maciço (segurança ocupacional). Estas abordagens permitiram monitorizar adequadamente o maciço e detetar situações de risco em tempo útil.

Na circulação de equipamentos entre emboquilhamento e vazadouro, foi diminuído o risco de rolamento e capotamento, tornando menos provável a ocorrência de um acidente similar ao ocorrido na 1ª fase de obra. Importa aferir se esta medida preventiva deve, no futuro, passar a constar do quadro legal.

Em termos de atitude dos trabalhadores, verificou-se que o número de horas de formação ministradas permitiu aos trabalhadores acolherem melhor as regras de segurança e terem uma atitude pró-ativa quanto a situações de risco. Apesar de alguns países já terem tomado esta opção, Portugal carece de uma abordagem mais sistemática sobre o assunto.

Quanto a riscos de atropelamento, verificou-se que a conjugação de sistemas de vídeo no equipamento com a formação tutorial permitiu uma melhor abordagem do risco por parte dos manobreadores. Qualquer um destes critérios deveria futuramente passar a constar como requisito essencial das boas práticas.

O risco de inalação de fumos perigosos foi drasticamente reduzido, permitindo ter frentes de escavação e suporte primário a decorrer com alguma proximidade a zonas de revestimento definitivo. A utilização gradual de explosivos com fumos menos tóxicos poderá futuramente ajudar a reduzir este risco.

O risco de explosão extemporânea, pela abordagem em termos de produtos utilizados e em termos formativos, permitiu a realização dos trabalhos de um modo seguro. A utilização de detonadores tecnologicamente mais evoluídos deverá constar das prioridades dos Donos de Obra.

Quanto a riscos de queda de torrões de betão fresco, verificou-se que, com a medida organizacional proposta, se diminuiu a exposição dos trabalhadores ao risco. Não estando esta medida ainda sistematizada internacionalmente, abre-se uma boa oportunidade para o fazer.

REFERÊNCIAS

ARUP (2012). Southern Nevada Water Authority Contract Lake Mead intake shafts and tunnel Project.

Chapman, D. e Metje, N.(2010). *Introduction to Tunnel Construction*, Spons Architecture Price Book, Londres.

Health and Safety Executive (1996). *Safety of New Austrian Tunneling Method (NATM) Tunnels*, HSE, Londres.

Lamont, D. (2002). Keynote Lecture - Overview of health and Safety in Tunnel Construction. *World Tunneling Congress 2002*, Sidney.

Stipek, W. e Galler, R. (2012). *50 years of NATM-experience reports*, ITA, Áustria.

Tender, M. e Couto, J. (2015). Prevention in underground construction with Sequential Excavation Method. *Occupation Safety and Hygiene III*, pp. 421-424. Taylor & Francis. Londres

Velasco, J. e Herrero, T. (2010). Metodología de diseño, observación y cálculo de redes geodésicas exteriores para túneles de gran longitud. *Informes de la Construcción*, Vol. 66, pp. 010.

Vogel, M. e Kunz-Vondracek, I. (2013). Safety and health in long deep tunneling-lessons learned in Swiss transalpine tunnel projects. *World Tunnel Congress 2013*, Genebra.